COMPARATIVE ASSESSMENT OF WOOD SAWING TRAJECTORIES WITH CIRCULAR SAWS

M. Vrzheshch, A. Herasymchuk*, L. Datsiuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES
АСМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Key words:
woodworking,
wood sawing kinematics,
wood sawing regime,
wood sawing trajectory,
crossing

Article history:
Received 29.07.2022
Accepted 25.08.2022

****Corresponding author:***
alexgop2017@gmail.com

ABSTRACT

During the technological regime calculation of the wood processing, in particular the trunk crossing with circular disc saws, there is important to simplify the sawing trajectory and replace it with a fragment of a circular arc. The sawing and feeding movements, as well as the diameter of the saw, are among the factors that determine the shape of the flat curved line described by the tooth of the cutting tool. The mathematical description of the trajectory of sawing by a woodworking tool with a rotary motion is performed in many scientific works. However, some issues require further research. A comparative evaluation of the trajectories of sawing wood with circular saws during trunk crossing is performed in the article. The evaluation was carried out using the methodology for calculating the length of fragments of second-order plane curves, developed and implemented in the form of a computer program in the MathCad. The methodology is based on the principles of discreteness and approximation regarding the approximate determination of geometric parameters. The results of numerical experiments for six variants of transverse sawing technological regimes are presented and analyzed. Dependencies between the kinematic parameters of a wood-cutting tool with different number of teeth and the length of arcs of cutting trajectories were established. It is determined under which conditions it is possible to replace the arc of a curve of the second order of the general form with a corresponding fragment of the same curve of the canonical form, in particular circles and cycloids, which will allow rational design of the power of the drives of the cutting and feeding mechanisms of specialized woodworking equipment. A recommendation was submitted regarding the introduction of the proposed methodology to the educational process of forestry complex equipment specialties, in particular regarding the teaching of the discipline «Theory and construction of woodworking equipment».

DOI: 10.36910/acm.vi48.782

To cite this article:
Vrzheshch, M., Herasymchuk, A., & Datsiuk, L. (2022). Comparative assessment of wood sawing trajectories with circular saws. *Agricultural Machines*, *48*, 38-45. https://doi.org/10.36910/acm.vi48.782

УДК 674.053:621.934

ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ РОЗПИЛЮВАННЯ ДЕРЕВИНИ КРУГЛИМИ ПИЛКАМИ

М.В. Вржещ, О.П. Герасимчук*, Л.М. Дацюк

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES
АСМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Ключові слова:
обробляння деревини,
кінематика розпилювання деревини,
режим розпилювання деревини,
траєкторія розпилювання деревини,
кряжування

Історія публікації:
Отримано 29.07.2022
Затверджено 25.08.2022

******Автор для листування:***
alexgop2017@gmail.com

АНОТАЦІЯ

Під час розрахунку технологічних режимів процесів механічного оброблення деревини, зокрема кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок, виникає необхідність спрощення траєкторії розпилювання та її заміни на фрагмент дуги кола. Рухи розпилювання та подачі, а також діаметр пилки належать до факторів, що визначають форму плоскої кривої лінії, яку описує зубець різального інструменту. Математичний опис траєкторії розпилювання деревообробним інструментом з обертовим рухом виконано у багатьох наукових працях. Разом із тим, окремі питання потребують подальших досліджень. У статті виконане порівняльне оцінювання траєкторій розпилювання деревини круглими пилками під час кряжування стовбурів. Оцінювання відбувалося із використанням розробленої та реалізованої у вигляді комп'ютерної програми в середовищі MathCad методики розрахунку довжини фрагментів плоских кривих другого порядку. В основу методики покладено принципи дискретності та апроксимації щодо наближеного визначення геометричних параметрів. У статті представлені та проаналізовані результати числових експериментів для шести варіантів технологічних режимів поперечного розпилювання. Встановлено залежності між кінематичними параметрами дереворізального інструменту із різною кількістю зубців та довжиною дуг траєкторій розпилювання. Означено, за яких умов можлива заміна дуги кривої другого порядку загального виду на відповідний фрагмент тієї ж кривої канонічного виду, зокрема кола та циклоїди, що дозволить раціонально проєктувати потужності приводів механізмів розпилювання та подачі спеціалізованого деревообробного устаткування. Подано рекомендації щодо впровадження запропонованої методики до освітнього процесу спеціальностей, які передбачають вивчення обладнання лісового комплексу.

DOI: 10.36910/acm.vi48.782

Цитувати цю статтю:
Вржещ, М. В., Герасимчук, О. П., & Дацюк, Л. М. (2022). Обґрунтування конструкції підбирача валків льону олійного для роздільної технології. *Сільськогосподарські машини*, *48*, 38-45. https://doi.org/10.36910/acm.vi48.782

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У практиці інженерних розрахунків режимів технологічних процесів механічного оброблення деревини, зокрема кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок, виникають питання щодо спрощення траєкторії розпилювання та заміни її на фрагмент дуги кола. Очевидно, що рухи розпилювання та подачі, а також діаметр пилки належать до факторів, що визначають форму плоскої кривої лінії, яку описує зубець різального інструменту. Однак, необхідно обґрунтовувати за якої величини зазначених факторів та без великої похибки можна вважати ці наближення прийнятними. Адже, середня товщина стружки залежить від вибору траєкторії розпилювання та є аргументом функціональних залежностей для силових та енергетичних характеристик. Таким чином, побудова та реалізація методики розрахунку довжини траєкторії розпилювання круглими пилками є важливим завданням, вирішення якого дозволить раціонально використовувати потужності приводу механізмів розпилювання та подачі деревообробного устаткування.

Питання режимів технологічних процесів поперечного розпилювання за допомогою круглих дискових пилок висвітлені у наукових працях (*Koch, 1964; Амалицкий & Санев, 1992; Кірик, 2006; Шостак та ін., 2007; Шостак та ін., 2009*). Математичний опис траєкторії розпилювання деревообробним інструментом з обертовим рухом виконано у наукових працях (*Koch, 1964; Кірик, 2006*). Інформація щодо параметрів круглих дискових пилок та їх технологічного застосування подається у державних стандартах *ДСТУ 2233-93* (*1993*) та *ДСТУ 2654-94* (*1994*).

У працях (*Амалицкий & Санев, 1992; Шостак та ін., 2007; Шостак та ін., 2009*) здійснено огляд конструкцій деревообробного устаткування із круглими пилками для кряжування стовбурів. Проведений аналіз літературних джерел із досліджуваного питання підтверджує актуальність і важливість цієї проблематики.

Мета дослідження – розробити та реалізувати методику розрахунку довжини траєкторії розпилювання круглою дисковою пилкою за поперечного пиляння на основі використання положень та виразів аналітичної геометрії на площині та дискретизації плоских кривих другого порядку за допомогою кусково-лінійних функцій.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Під час дослідження використано методи: математичного аналізу для порівняльного оцінювання траєкторій розпилювання та обертання у процесах пиляння круглими пилками; аналітичної геометрії на площині для апроксимації кривих другого порядку кусково-лінійними функціями; теоретичної механіки (кінематики) для опису поступального та обертального рухів твердого тіла.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розглянемо кряжування стовбура радіусом r у поперечному перерізі за допомогою круглої дискової пилки радіусом R з кроком зубців t_z (**рис. 1**). Виберемо прямокутні системи координат: $x_1O_1y_1$ – із початком у центрі поперечного перерізу стовбура; $x_2O_2y_2$ – із початком у центрі круглої пилки. Нехай, дереворізальний інструмент обертається з кутовою швидкістю ω та здійснює рух подачі у вертикальному напрямку вздовж осі O_2y_2 зі швидкістю V_{O2}. Крім того, на розрахунковій схемі (**рис. 1**) прийняті позначення: K_0 – точка початкового контакту різального зубця пилки з деревиною; K_1 – точка, яка розташована на траєкторії розпилювання та яка відповідає одному повному оберту зубця пилки; ψ – центральний кут з вершиною у точці O_2', який охоплює дугу траєкторії руху зубця пилки колом від точки $n-1$ (початок розпилювання) до точки m' (вихід зубця із пропилу); дуга між точками $n-1$ та m' є фрагментом траєкторії розпилювання із урахуванням руху подачі (крива другого порядку).

Отже, рівняння кола поперечного перерізу стовбура у системі координат $x_1O_1y_1$ набуде вигляду (1), а рівняння кола обертання круглої дискової пилки у системі координат $x_2O_2y_2$ набуде вигляду (2), тобто:

$$x_1^2 + y_1^2 = r^2, \quad (1)$$

$$x_2^2 + y_2^2 = R^2. \quad (2)$$

Для обертального руху різального інструменту у параметричній формі в системі координат $x_2O_2y_2$ можна записати:

$$x_2 = R\cdot\sin(\omega t), \quad (3)$$

$$y_2 = R\cdot\cos(\omega t), \quad (4)$$

де t – час, с.

Із урахуванням швидкості V_{O2} в системі координат $x_1O_1y_1$ одержимо параметричні рівняння траєкторії руху зубця пилки:

$$x_1 = R\cdot\sin(\omega t), \quad (5)$$

$$y_1 = R\cdot\cos(\omega t) + V_{O2}t - R - r. \quad (6)$$

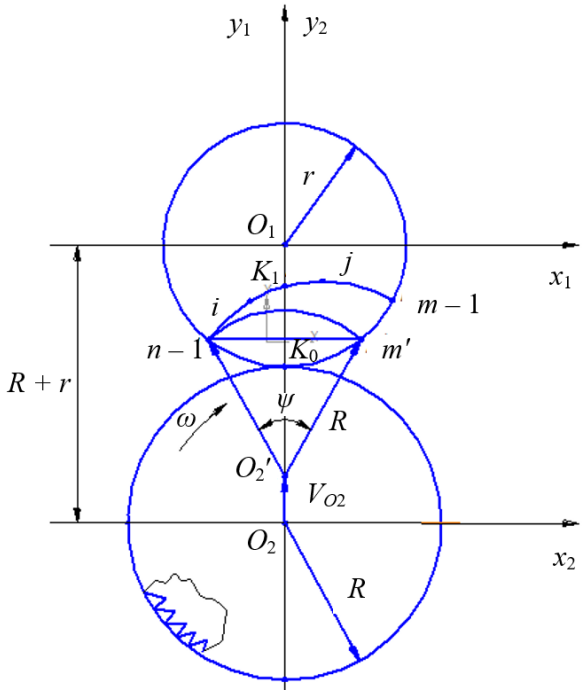

Рис. 1 – Розрахункова схема до визначення геометричних та кінематичних параметрів процесу кряжування стовбурів

Кутову швидкість обертання пилки можна визначити за залежністю:

$$\omega = V / R, \quad (7)$$

де V – лінійна колова швидкість обертання (швидкість розпилювання), м/с.

Тривалість першого повного оберту круглої пилки (на **рис. 1** – від точки K_0 до точки K_1) становить:

$$t_1 = 2\pi / \omega. \quad (8)$$

Координати точок, що розташовані зліва та справа від точки K_1 (**рис. 1**) на траєкторії розпилювання, можна визначити дискретно, оскільки усі попередні та наступні фіксовані положення різального зубця пилки зміщені пропорційно до величини центрального кута ψ, який залежить від геометричних параметрів круглої пилки, а саме:

$$\psi = 2\cdot\arcsin(t_z / 2R), \quad (9)$$

$$t_z = 2R\cdot\sin(\pi/z), \quad (10)$$

де z – кількість зубців круглої пилки, шт.

Для точок траєкторії розпилювання, що розташовані зліва від точки K_1, матимемо:

$$x_1^{(i+1)} = R\cdot\sin(\omega t_{i+1}), \quad (11)$$

$$y_1^{(i+1)} = R\cdot\cos(\omega t_{i+1}) + V_{O2}t_{i+1} - R - r, \quad (12)$$

$$t_{i+1} = (2\pi - \psi\cdot i)/\omega, \quad (13)$$

де $i = 1, 2,\ldots, n-1$.

Для точок траєкторії розпилювання, що розташовані справа від точки K_1, матимемо:

$$x_1^{(j+1)} = R\cdot\sin(\omega t_{j+1}), \quad (14)$$

$$y_1^{(j+1)} = R\cdot\cos(\omega t_{j+1}) + V_{O2}t_{j+1} - R - r, \quad (15)$$

$$t_{j+1} = (2\pi + \psi\cdot j)/\omega, \quad (16)$$

де $j = 1, 2,\ldots, m-1$.

Граничні величини параметрів n та m залежать від виконання умови, за якої зубець пилки розташовано в межах контуру поперечного перерізу стовбура, тобто:

$$[x_1^{(i+1)}]^2 + [y_1^{(i+1)}]^2 \le r^2, \quad (17)$$

$$[x_1^{(j+1)}]^2 + [y_1^{(j+1)}]^2 \le r^2. \quad (18)$$

Довжину лінійних відрізків між точками, що розташовані зліва від точки K_1, можна визначити за залежністю (19), а справа від точки K_1 – за залежністю (20):

$$\chi_i = [(x_1^{(i+1)} - x_1^{(i)})^2 + (y_1^{(i+1)} - y_1^{(i)})^2]^{0,5}, \quad (19)$$

$$\lambda_j = [(x_1^{(j+1)} - x_1^{(j)})^2 + (y_1^{(j+1)} - y_1^{(j)})^2]^{0,5}, \quad (20)$$

де $i = 1, 2,\ldots, n-1$; $j = 1, 2,\ldots, m-1$.

Сумарна довжина зазначених лінійних відрізків, які апроксимують плоску криву

другого порядку між точками $n-1$ та $m-1$ (**рис. 1**), визначатиме наближено загальну довжину дуги траєкторії розпилювання:

$$L_T = \sum_{i=1}^{n-1} \chi_i + \sum_{j=1}^{m-1} \lambda_j \ . \qquad (21)$$

Якщо вважати, що рух подачі відсутній, починаючи від точки $n-1$, то траєкторія розпилювання буде дугою кола з радіусом R, причому кінцем цієї дуги стане точка m'. Довжину хорди, що з'єднує зазначені точки, можна визначити за залежністю:

$$l = [(x_1^{(m')} - x_1^{(n-1)})^2 + (y_1^{(m')} - y_1^{(n-1)})^2]^{0,5}, \quad (22)$$

де $x_1^{(m')} = -x_1^{(n-1)}$; $y_1^{(m')} = y_1^{(n-1)}$.

За відомим значенням параметра l можна визначити величину центрального кута ψ, який спирається на цю хорду, а також довжину дуги між точками $n-1$ та m', тобто:

$$\psi = 2 \cdot \arcsin(l/2R), \qquad (23)$$

$$L_K = R \cdot \psi. \qquad (24)$$

Методика розрахунку довжини траєкторій розпилювання під час кряжування стовбурів за допомогою круглопилкових торцювальних верстатів, що запропонована, реалізована у вигляді комп'ютерної програми в середовищі MathCad. Це дозволило для круглопилкових торцювальних верстатів виконати числове експериментування за заданих кінематичних режимів розпилювання, які подаються у **таблиці 1**. Результати проведених досліджень за розробленою методикою представлені в **таблиці 2**.

Таблиця 1 – Початкові дані до визначення довжини траєкторій розпилювання

Радіус стовбура, мм	Кругла дискова пилка (*ДСТУ 2233-93, 1993*) (тип 2, виконання 1)		Кінематичні характеристики (*Кірик, 2006*)	
	Радіус, мм	Кількість зубців	Швидкість розпилювання, м/с	Швидкість подачі, м/с
75	180	72; 96	30; 90	1; 2,5

Таблиця 2 – Результати визначення довжини траєкторій розпилювання

Параметри	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
Кількість зубців пилки, шт	72	96	72	96	96	72
Швидкість розпилювання, м/с	30	90	30	90	30	90
Швидкість подачі, м/с	1,0	2,5	2,5	1,0	1,0	2,5
Період обертання пилки, с	0,038	0,013	0,038	0,013	0,038	0,013
Кут ψ, градуси	20,0	22,5	30,0	7,5	22,5	20,0
Довжина траєкторії L_T, мм	62,85	70,70	94,53	35,32	82,38	62,83
Довжина траєкторії L_K, мм	62,83	70,69	94,25	23,56	70,69	62,83
Абсолютне відхилення довжини траєкторії, мм	0,02	0,01	0,28	11,76	11,69	0,0
Відносне відхилення довжини траєкторії, %	0,03	0,01	0,3	33,3	14,2	0,0

Визначальними факторами, які впливають на довжину траєкторії розпилювання під час кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок, є швидкість розпилювання та швидкість подачі. Величина колової швидкості для цього типу дереворізального інструменту становить від 30 м/с до 90 м/с (**рис. 2, а**), а швидкості подачі досягає 150 м/хв (**рис. 2, б**) (*Кірик, 2006*).

Встановлено, що поєднання максимальної швидкості розпилювання, а також мінімальної швидкості подачі забезпечує короткочасну взаємодію різального зубця пилки із деревиною, а це зумовлює найменшу довжину траєкторії розпилювання (у **таблиці 2** – варіант 4, **рис. 3, д**). Натомість поєднання мінімальної швидкості розпилювання та максимальної швидкості подачі створює умову тривалої взаємодії різального зубця пилки із деревиною, а це зумовлює найбільшу довжину траєкторії розпилювання (у **таблиці 2** – варіант 3, **рис. 3, в**).

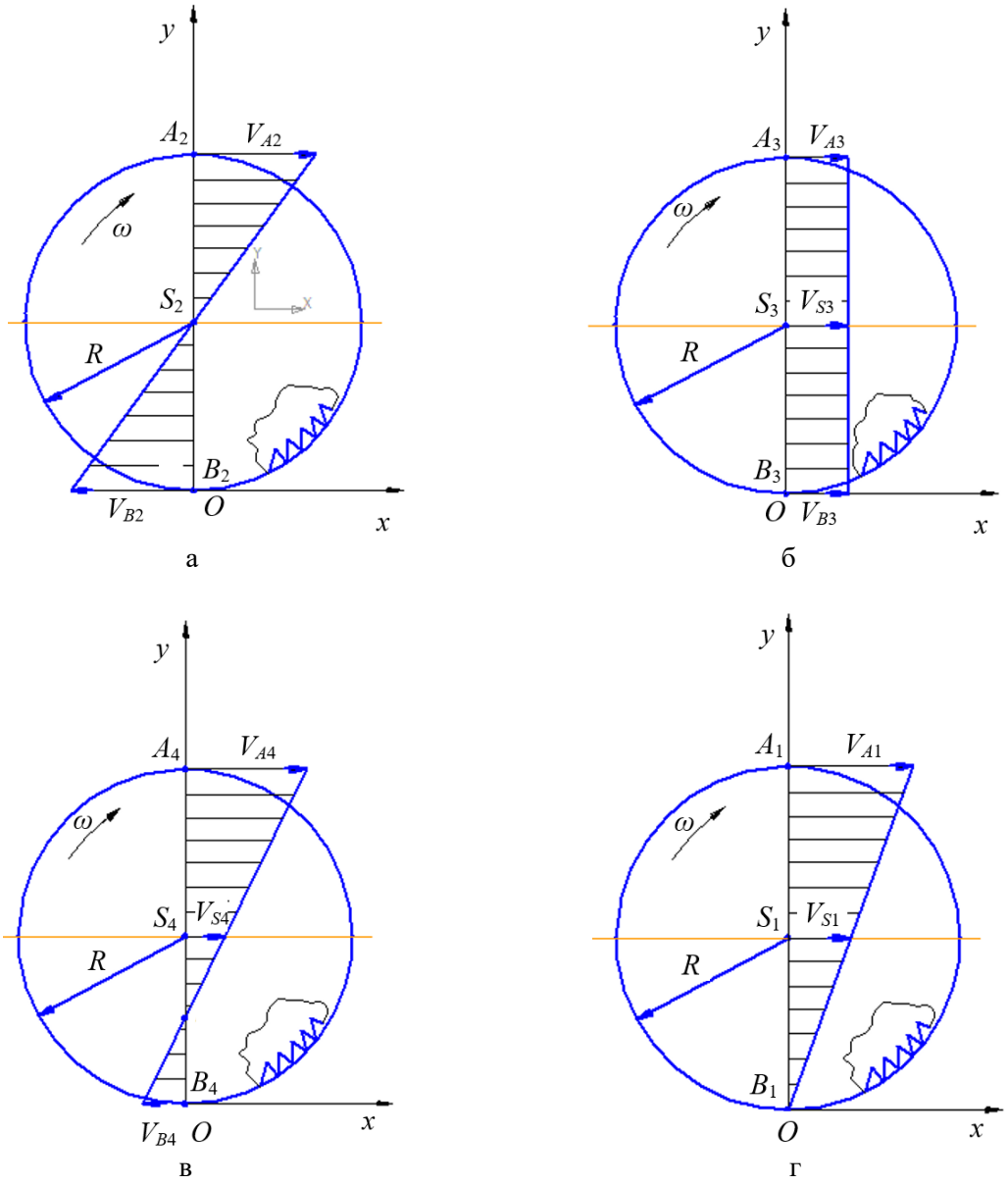

Рис. 2 – Епюри швидкостей круглої дискової пилки деревообробного верстата:
а – обертальний рух (швидкість розпилювання); б – поступальний рух (швидкість подачі, ковзання);
в – сума обертального та поступального рухів (кочення з проковзуванням);
г – рух кочення без проковзування

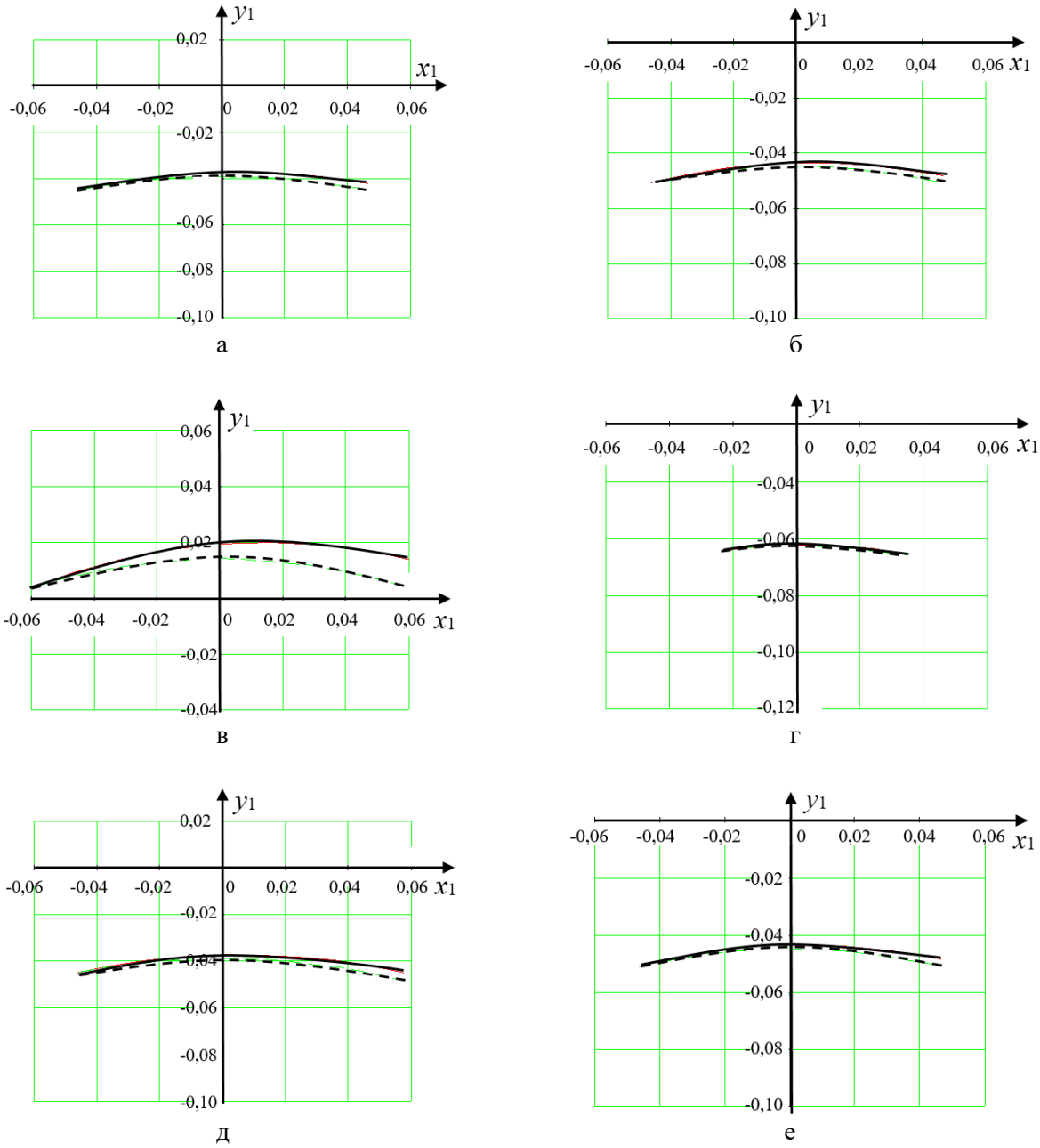

Рис. 3 – Графіки траєкторій розпилювання (суцільна лінія) та обертання (штрихова лінія) круглої дискової пилки під час кряжування стовбурів:
а – варіант 1; б – варіант 2; в – варіант 3;
г – варіант 4; д – варіант 5; е – варіант 6

Різна кількість зубців круглої пилки дозволяла змінювати параметри t_z та ψ для того, щоб більш точно описати криву траєкторії розпилювання кусково-лінійною функцією. Однак, у проведеному дослідженні точність апроксимації не оцінювалася. Загалом відносна похибка в обчисленні довжини траєкторії розпилювання, що визначена аналітично та дискретно, прийнятна для варіантів 1–3 та 6 (**таблиця 2**), що дозволяє обмежитися лише обертовим рухом пилки дереворізального устаткування (**рис. 2, а**), а траєкторію розпилювання розглядати як дугу кола. Щодо варіантів 4 та 5, де відносна похибка довжини траєкторії розпилювання є значною, то зазначене спрощення у формі плоских кривих другого порядку не є доцільним.

Одержані криві траєкторій розпилювання для усіх досліджуваних варіантів не можна вважати класичними циклоїдами за визначенням, оскільки: складний рух круглої пилки під час виконання технологічного процесу кряжування стовбурів є умовним коченням диска із частковим проковзуванням на поверхні (**рис. 2, в**); серед відомих величин швидкостей розпилювання і подачі для круглопилкових верстатів (*Кірик, 2006*) немає співвідношення, де б лінійна колова швидкість пилки була вдвічі більшою за поступальну швидкість руху її центра (**рис. 2, г**).

ВИСНОВКИ

Одержані результати досліджень щодо довжини та форми траєкторій розпилювання під час кряжування стовбурів за допомогою круглих дискових пилок вказують на те, що для певних швидкісних режимів поперечного розпилювання траєкторію у формі плоскої кривої другого порядку можна замінити колом. Але це потребує виконання попередніх розрахунків відповідно до запропонованої методики та аналізу одержаних результатів.

Розроблена та реалізована методика може бути впроваджена до освітнього процесу за спеціальностями, які вивчають обладнання лісового комплексу, зокрема може бути використана у фаховій дисципліні «Теорія та конструкції деревообробного устаткування».

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Koch, P. (1964). *Wood machining processes.* New York: Ronald Press Company.

Амалицкий, В. В., & Санев, В. И. (1992). *Оборудование и инструмент деревообрабатывающих производств (Equipment and tools for woodworking industries)*. М.: Экология.

ДСТУ 2233-93. (1993). Інструменти різальні. Терміни та визначення *(DSTU 2233-93. (1993). Cutting tools. Terms and definitions)*.

ДСТУ 2654-94. (1994). Деревообробне устаткування. Терміни та визначення *(DSTU 2654-94. (1994). Woodworking equipment. Terms and definitions)*.

Кірик, М. Д. (2006). *Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів (Machining of wood and wood materials)*. Львів: КН.

Шостак, В. В., Савчук, Я. І., Григор'єв, А. С., Волошинський, О. О., & Пишник, І. М. (2007). *Деревообробні верстати загального призначення (Woodworking machines)*. Київ: Знання.

Шостак, В. В., Савчук, Я. І., & Савич, М. М. (2009). *Теорія і конструкції деревообробного обладнання (Theory and designs of woodworking equipment)*. Львів: НЛТУ України.